



Stand der Technik

Verminderung von Methanemissionen bei gewerblich-industriellen Vergärungsanlagen

Ermittlung und Beschreibung

September 2017



Kanton Zürich
Baudirektion
Walcheplatz 2, 8090 Zürich

Diese Publikation dient Behörden und Gesuchstellern sowie Verfügungsadressaten bei der Beurteilung der technischen Anforderungen an gewerblich-industrielle Vergärungsanlagen. Sie dokumentiert die Ermittlung des aktuellen Standes der Technik für die Verminderung von Methanemissionen durch die zuständige Behörde zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Papiers und beschreibt insbesondere die massgeblichen Leistungsindikatoren sowie die verschiedenen, dem Umweltrecht entsprechenden aktuell verfügbaren Lösungen. Andere Lösungen sind zulässig, sofern sie den massgeblichen Leistungsindikatoren ebenfalls genügen.

Bei der Ermittlung und Beschreibung des bei der Vergärung anwendbaren Standes der Technik wurden die Vorgaben des vom AWEL im Jahr 2011 publizierten Grundlagenpapiers zur Feststellung und Anwendung des „Standes der Technik“ bei Prozessen der Abfallbehandlung befolgt.

Erfolgt bei der Erteilung von Bewilligungen eine Beurteilung oder Anordnung zum Stand der Technik, so werden im Sinne von § 2 und § 4 des Abfallgesetzes des Kantons Zürich die wirtschaftliche Tragbarkeit und die Verhältnismässigkeit mitberücksichtigt.

Zusammenfassung

Ausgangslage

Bei der Vergärung handelt es sich um ein Verfahren zur Behandlung von Abfällen. Aus Abfall entsteht nutzbares Biogas, welches entweder zu reinem Methan aufbereitet (und ins Erdgasnetz eingespeist) oder in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) in Energie umgewandelt wird. Dabei können jedoch ungewollte Emissionen in die Umwelt auftreten. Auf gewerblich-industriellen Vergärungsanlagen (System Pfropfenströmer) werden ca. 50% der Methanemissionen bei der Lagerung des flüssigen Gärguts in die Umwelt emittiert. Somit scheint es bei diesem Anlagentyp technisch möglich, einen grossen Teil der unerwünschten Emissionen mit baulichen und betrieblichen Massnahmen zu reduzieren.

Rechtlicher Hintergrund

Gemäss § 2 Abs. 3 des zürcherischen Abfallgesetzes (AbfG) [13] vom 25. September 1994 müssen alle Abfallanlagen¹ nach dem Stand der Technik sowie nach der wirtschaftlichen Tragbarkeit erstellt, angepasst und betrieben werden. Ist der Stand der Technik einer bestimmten Form der Abfallbehandlung nicht bekannt, ist das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) zuständig, die notwendigen Abklärungen durchzuführen².

Zudem müssen gemäss der Verordnung über die Verwertung und Entsorgung von Abfällen (VVEA) [8] vom 4. Dezember 2015 die baulichen Einrichtungen gewährleisten, dass Emissionen klimawirksamer Gase verhindert oder vermindert werden.

Mögliche Lösungen

Im vorliegenden Projekt wurden verschiedene Massnahmen zur Emissionsreduktion bei gewerblich-industriellen Vergärungsanlagen (System Pfropfenströmer) untersucht und der Stand der Technik ermittelt. Folgende drei Massnahmen kommen in Betracht [2]:

1. Gasdichte Abdeckung des flüssigen Gärgutlagers und Zuführung in den Gasspeicher,
2. markante Abkühlung des Gärguts vor oder direkt nach der Fest-Flüssig-Trennung (Separierung) auf $< 20^{\circ}\text{C}$ zur Reduktion der biologischen Aktivität,
3. Fassung der methanhaltigen Abluft und Zuführung an eine geführte Verbrennung (z.B. regenerative thermische Oxidation, RTO oder Blockheizkraftwerk (BHKW)).

Der Vergleich zwischen den Lösungen zeigt, dass die gasdichte Abdeckung des Lagertanks von flüssigem Gärgut bei Pfropfenströmern die beste ökologische Performance aufweist. Massnahme 2 kommt in den meisten Fällen nicht in Frage, da der Energieaufwand für die Abkühlung des Gärguts im Vergleich zur Energieproduktion unverhältnismässig hoch ist (ca. 70kW Leistung bei einer durchschnittlich grossen Anlage). Die Variante 3 erfordert je nach Ausgestaltung die Zuführung von Stützgas zur Verbrennung des Methans oder umfangreiche bauliche Anpassungen im Lüftungsbereich, so dass diese Variante gegenüber der ersten Variante schlechter abschneidet.

¹ Definition im Sinne von Art. 26 VVEA (Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen vom 4. Dezember 2015)

² BD-Verfügung Nr. 289/2011 vom 20. Februar 2011

Während der Lagerung nehmen die Methanemissionen des flüssigen Gärguts mit der Zeit ab. Kühle Bedingungen reduzieren die biologische Aktivität und damit die Emissionsintensität. Es ist davon auszugehen, dass bei vielen Anlagen nach einer Lagerdauer von mindestens 3 Wochen und einer anschliessenden Lagertemperatur von weniger als 27°C die Methanemissionen einer Anlage ungefähr halbiert werden können.

Weitere Systeme von Vergärungsanlagen

Als weitere Technologien existieren neben dem Pfropfenstromsystem das sogenannte Boxensystem zur Feststoffvergärung oder Rührkessel zur Flüssigvergärung. Im Kanton Zürich sind jedoch derzeit keine Anlagen dieser Typen in Betrieb. Deshalb werden im Folgenden keine Anforderungen an den Stand der Technik dieser Anlagen definiert.

Stand der Technik

Nach dem Stand der Technik für die Verminderung der Methanemissionen bei gewerblich-industriellen Vergärungsanlagen ist Folgendes zu erreichen:

- 1 Die baulichen Einrichtungen müssen gewährleisten, dass Emissionen klimawirksamer Gase mittels geeigneter Massnahmen verhindert oder vermindert werden (Art 33 Abs 2 VVEA).**
- 2 Der Stand der Technik gilt bei Anlagen mit Pfropfenstromfermentern und Fest-/Flüssig-Trennung als erfüllt, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:**
 - a. Der Prozess der Fest/Flüssig-Trennung und der Sedimentation wird so durchgeführt, dass das flüssige Gärgut möglichst rasch (d.h. im Normalfall innert maximal 24 Stunden) einem gasdichten System mit einer Gasverwertung zugeführt werden kann.**
 - b. Das flüssige Gärgut wird nach der Fest/Flüssig-Trennung und der Sandabscheidung**
 - i. entweder bis zu dessen Ausbringung in einem gasdichten System gelagert oder**
 - ii. während mindestens 3 Wochen (bestehende Anlagen) bzw. 60 Tagen (neue Anlagen) in einem gasdichten System gelagert. Anschliessend kann es in nicht gasdicht abgedeckten Behältern bei einer Temperatur von < 27 °C bis zum Ausbringen gelagert werden.**
 - iii. Auf die Lagerung im gasdichten System kann verzichtet werden, wenn nachgewiesen wird, dass die Restmethanbildung kleiner als 1.5 % ist³.**
- 3 Die Methanemissionen der Lagerbehälter für flüssiges Gärgut werden möglichst vollständig erfasst und einer Verwertung ohne erheblichen Energieaufwand zugeführt.**

³ Die Restmethanbildung muss kleiner sein als 1.5 % der in der Biogasanlage gebildete Methanmenge. Bei der Berechnung des Werts ist von Nm³ auszugehen, die Restmethanbildung ist bei 20°C und über einen Zeitraum von 60 Tagen zu ermitteln [15].

Inhalt

1. Geltungsbereich	7
2. Grundlagen und Problemstellung	8
3. Abschätzung der Methanemissionen bei der Nachrotte und Lagerung.....	9
3.1 Emissionen bei der Lagerung des flüssigen Gärguts – Messungen Anlage A....	9
3.2 Emissionen bei der Nachrotte des festen Gärguts - Messungen Anlage B.....	10
3.3 Emissionen der Gesamtanlage - Messungen Anlage C.....	10
3.4 Restgasbildungspotenzial bei der Lagerung des flüssigen Gärguts.....	11
3.5 Begrenzung des Restgasbildungspotenzials.....	13
4. Übersicht über mögliche technische Reduktionsmassnahmen	13
4.1 Schlussfolgerungen	15
5. Beschreibung Stand der Technik.....	15
6. Regelungen für bestehende Anlagen	17
7. Literatur	18
8. Erstellungs- und Änderungsprotokoll	19

Titelbild: Sedimentationsbecken für flüssiges Gärgut in der Biogas Zürich AG

Foto: Helmut Vetter, Biogas Zürich AG

Impressum

Herausgeber	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Abteilung Lufthygiene und Abteilung Abfallwirtschaft und Betriebe Stampfenbachstrasse 12 / Weinbergstrasse 34 8090 Zürich www.awel.zh.ch
Projektleitung	Seraina Steinlin (Abteilung Lufthygiene)
Mitarbeit	Hans Engeli (engeli engineering, Neerach) Konrad Schleiss (Umweko GmbH, Grenchen) Rolf Wagner (Abteilung Abfallwirtschaft und Betriebe) Arthur Wellinger (Biomasse Suisse)
Grundlagen	Messbericht zu den Messungen Anlage A. Treibhausgas- Emissionen aus der Vergärung vom 20. Januar 2014. Messbericht Nr. 115'002. Methan Emissionsmessung Anlage B vom 4. September 2015

Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft
CH ₄	Methan
CO	Kohlenmonoxid
FM	Frischmasse
LRV	Luftreinhalte-Verordnung
NO _x	Stickoxid
OTS	Organische Trockensubstanz
RTO	Regenerative thermische Oxidation (Abluftreinigungsverfahren)
TS	Trockensubstanz
USG	Umweltschutzgesetz
VOC	Volatile Organic Compound (flüchtige Stoffe)
VVEA	Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen

1. Geltungsbereich

Der vorliegende Stand der Technik befasst sich mit der Verminderung von Methanemissionen in **Vergärungsanlagen, die sich in der Industriezone befinden oder keinem Landwirtschaftsbetrieb zugeordnet sind (Typ D gemäss Tabelle 1), sog. gewerblich-industrielle Anlagen.**

Vergärungsanlagen innerhalb der Landwirtschaftszone, die einem Landwirtschaftsbetrieb untergeordnet sind, werden davon ausgenommen (Typen A, B und C). Für sie gelten die Vorschriften und Richtlinien des Bundes betreffend landwirtschaftlichen Umweltschutz und die Vorschriften der VVEA, sofern sie mehr als 100t Abfälle pro Jahr verarbeiten.

Tabelle 1: Die verschiedenen Typen von Vergärungsanlagen (agridea) [10]

Anlagentyp	zulässiges Zufuhrmaterial	Vergärungsprodukt
landwirtschaftliche Vergärungsanlage (Typ A)	Hofdünger plus ausschliesslich Material landwirtschaftlicher Herkunft (vom eigenen oder von fremden Betrieben).	Hofdünger
landwirtschaftliche Vergärungsanlage (Typ B)	Hofdünger plus anderes Material landwirtschaftlicher Herkunft (vom eigenen oder von fremden Betrieben) sowie maximal 20 % Material nicht landwirtschaftlicher Herkunft.	
landwirtschaftliche Vergärungsanlage (Typ C)	Hofdünger plus anderes Material landwirtschaftlicher Herkunft (vom eigenen oder von fremden Betrieben) sowie > 20 bis maximal 50 % Material nicht landwirtschaftlicher Herkunft.	Recyclingdünger
Gewerblich-industrielle Vergärungsanlage (Typ D)	Mehr als 50 % Material nicht landwirtschaftlicher Herkunft: Biogene Abfälle aus den Gemeinden Gewerbliche und industrielle Reststoffe	

Im vorliegenden Bericht werden ausschliesslich Massnahmen diskutiert, welche die Emissionen aus der Lagerung des flüssigen Gärguts bei Anlagen mit Pfpfenstromfermentern und Fest-/Flüssig Trennung vermindern. Die Umsetzung der aufgeführten Massnahmen kann rechtlich sowohl auf das AbfG, die VVEA und die LRV abgestützt werden.

Grundsätzlich gibt es auf dem Markt weitere technische Verfahren zur Vergärung von biogenen Abfällen (z.B. Boxenverfahren, Flüssigvergärung). Im Kanton Zürich sind zurzeit nur industrielle Vergärungsanlagen mit Pfpfenstromfermentern in Betrieb, sodass sich die Beschreibung des Standes der Technik auf diesen Typus von Anlagen beschränkt. Sobald weitere Anlagentypen betrieben werden, soll der vorliegende Stand der Technik erweitert werden, sodass alle Anlagentypen abgedeckt sind.

2. Grundlagen und Problemstellung

Auf einer gewerblich-industriellen Vergärungsanlage wird organisches Ausgangsmaterial einer energetischen und anschliessend einer stofflichen Verwertung zugeführt. Zugelassen zur Verwertung sind alle Materialien gemäss der VVEA. Die Materialien werden meist per LKW angeliefert und in einen Bunker gekippt. Die Anlieferungsstelle bildet die Systemgrenze. Von dort gelangen die Materialien in eine Aufbereitung (Zerkleinerungsanlage) und weiter in den Fermenter, den eigentlichen Reaktor, der im thermophilen (ca. 55°C) Temperaturbereich betrieben wird, wobei Biogas und Gärgut entstehen. Das Gärgut wird bei Pfpfenstromfermentern anschliessend in eine feste und eine flüssige Phase aufgetrennt (entwässert). Die flüssige Phase kommt zuerst in ein Sedimentationsbecken (Sandabscheidung) und anschliessend in einen Lagertank (intern oder extern). Die Endprodukte werden im Gartenbau oder in der Landwirtschaft als Recycling-Dünger eingesetzt. Bei den gewerblich-industriellen Anlagen im Kanton Zürich findet die Aufbereitung der angelieferten Biomasse in einer geschlossenen und mechanisch entlüfteten Halle statt. Der darauffolgende Vergärungsprozess spielt sich im vollständig geschlossenen Fermenter ab. Die gefasste Abluft der Halle wird mittels einer Lüftungsanlage, teilweise nach Vorreinigung mit einem sauren Wäscher zur Entfernung von Ammoniak, über einen Biofilter ins Freie geleitet (vgl. Abbildung 1). Das in der Hallenabluft enthaltene Methan kann durch die herkömmliche Abluftreinigung nicht abgeschieden werden und entweicht in die Umwelt.

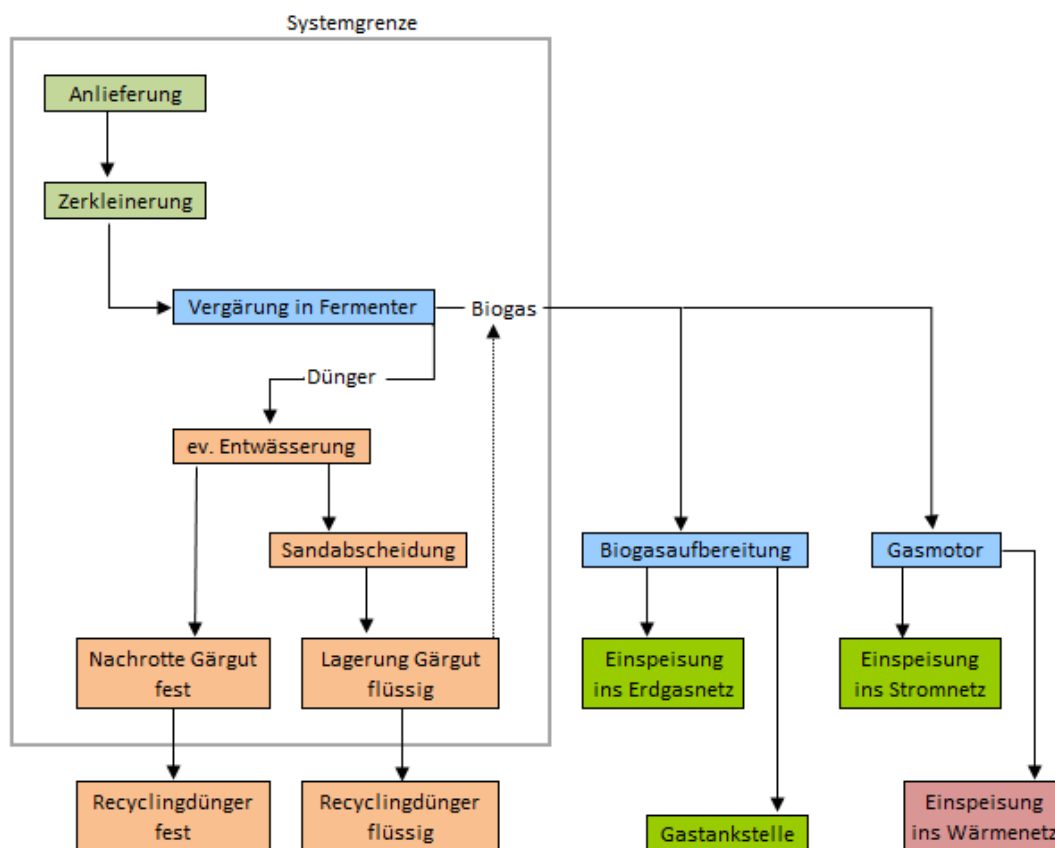


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Pfpfenstrom-Verfahrens in einer gewerblich-industriellen Vergärungsanlage.

Obwohl der eigentliche Vergärungsprozess in einem geschlossenen System stattfindet und das anfallende Biogas genutzt wird, entstehen bei den vor- und nachgelagerten Prozessen Schadstoffemissionen (Anlieferung, Aufbereitung, Sandabscheidung, Lagerung, Nachrotte). Unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung sind Emissionen im Rahmen der Vorsorge so weit zu begrenzen, als dies technisch möglich und wirtschaftlich tragbar ist (Art 11 des Umweltschutzgesetz (USG) [4] vom 7. Oktober 1983).

In der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) [5] vom 16. Dezember 1985 werden für verschiedene Schadstoffe Emissionsgrenzwerte definiert (z.B. Stickoxide, Kohlenmonoxid, Ammoniak, etc.). Für Methan als Hauptbestandteil von Biogas ist in der LRV kein Emissionsgrenzwert festgelegt. Emissionen, für die die LRV keine Emissionsbegrenzung festlegt, sind von der Behörde vorsorglich so weit zu begrenzen, als dies technisch möglich und wirtschaftlich tragbar ist (Art. 4 LRV).

Gemäss Art. 33 Abs. 2 VVEA müssen Vergärungsanlagen, die jährlich mehr als 100 t Abfälle annehmen, die Emissionen klimawirksamer Gase verhindern oder so weit möglich vermindern.

Die durchgeführten Messungen zeigen, dass bei Anlagen mit Pfropfenstromfermentern und Fest-/Flüssig Trennung die Lagerung des flüssigen Gärguts mehr als 50% der Methan-Gesamtemissionen verursachen kann [2].

3. Abschätzung der Methanemissionen bei der Nachrotte und Lagerung

Die Nachrotte des festen Gärguts bzw. Lagerung des flüssigen Gärguts verursacht Methanemissionen. Um den Anforderungen an den Klimaschutz gerecht zu werden, müssen gemäss Art. 33 Abs. 2 VVEA die baulichen Einrichtungen gewährleisten, dass die Emissionen klimawirksamer Gase mittels geeigneter Massnahmen verhindert oder vermindert werden.

Um detailliertere Daten über die Methanemissionen bei der Nachbehandlung des festen und flüssigen Gärguts zu erhalten, wurden an drei Anlagen Messungen durchgeführt. Mit den Messungen in der Anlage A wird abgeschätzt, wie hoch die Emissionen aus der Lagerung des flüssigen Gärguts sind. Die Messungen auf der Anlage B quantifizieren die Emissionen bei der Aerobisierung, Nachrotte und Lagerung des festen Gärguts. Die Messungen auf der Anlage C die Gesamtemissionen.

3.1 Emissionen bei der Lagerung des flüssigen Gärguts – Messungen Anlage A

Messungen für das Umweltbundesamt Deutschland [1] zeigten, dass bei der Behandlung und Lagerung des flüssigen Gärguts «nennenswerte» Emissionen entstehen. Es wurden Emissionen von insgesamt 3.5 kg Methan pro Tonne Input ermittelt. Ein Drittel der Emissionen stammte aus der Nachrotte, welche in den Schweizer Anlagen kaum stattfindet.

Somit beträgt der Vergleichswert für den Prozess, wie er auf den Schweizer Anlagen stattfindet, ca. 2.5 kg Methan pro Tonne Input.

Um zu überprüfen, ob die in Deutschland ermittelten Werte auch für die Schweiz anwendbar sind, wurden bei der Anlage A die ersten zwei Sedimentationsbecken für flüssiges Gärgut abgedeckt und wahlweise in die Halle bzw. ins Freie geleitet. Es zeigte sich, dass mit Gesamtemissionen von rund 1.5-2.5 kg Methan/t Input zu rechnen ist. Zudem wurde gezeigt, dass mit einer gasdichten Abdeckung der ersten zwei Sedimentationsbecken für flüssiges Gärgut ca. die Hälfte der Methanemissionen verhindert werden können.

Gegenüber den Werten aus Deutschland stellt dieser in der Schweiz erhobene Wert eine Reduktion der Emissionen um 20-40% dar. Unter Berücksichtigung der fehlenden Nachrotte liegt dieses Messresultat im Bereich der Messunsicherheit und bestätigt somit die früheren Messresultate aus Deutschland.

3.2 Emissionen bei der Nachrotte des festen Gärguts - Messungen Anlage B

Um die Menge der mit der Nachrotte von festem Gärgut verbundenen Emissionen zu ermitteln, wurde im Juni 2015 ein entsprechendes Messprogramm ausgearbeitet und auf der Vergärungsanlage der Anlage B durchgeführt. Diese Messungen sollten Hinweise über die Größenordnung der Methanemissionen bei der Aerobisierung und Nachrotte liefern, um durch allfällige Anpassungen der Belüftungsintensität und -dauer die Methanemissionen bei diesem Prozessschritt zu reduzieren.

Um die Messresultate mit bereits vorhandenen Messwerten von anderen Anlagen zu vergleichen, wurde der Methanmassenstrom auf den Anlagendurchsatz, d.h. die Inputmenge an frischem Substrat, bezogen. Die Messungen ergaben Methanemissionen aus dem festen Gärgut von 0.31 kg/t Input [12].

3.3 Emissionen der Gesamtanlage - Messungen Anlage C

Um die Gesamtemissionen auf einer Anlage und der Einfluss der verschiedenen Betriebszustände beurteilen zu können, wurde auf der Anlage C eine umfangreiche Messkampagne durchgeführt [14]. Während rund 2.5 Tagen wurde kontinuierlich die Methankonzentration im Abluftkamin vor dem Biofilter gemessen. Die Anlage verarbeitete während der Messung durchschnittlich 66 Tonnen biogene Abfälle pro Stunde.

Die Messungen zeigten bei dieser Anlage einen mittleren Emissionswert von 2.4 kg Methan pro Tonne Input. Die Auswertung der Emissionen während der verschiedenen Betriebszuständen zeigt zudem, dass für die Gesamtemission vor allem der Normalzustand der Anlage (ohne Aktivitäten in der Halle) wegen der langen Zeitdauer und der Betrieb der Pressen zur Entwässerung relevant sind. Insbesondere während des Betriebs der Pressen traten erhöhte Emissionswerte auf (32 % mehr als im Normalzustand). Dies könnte damit zusammenhängen, dass die Schaumdecke auf dem Presswasser aufgebrochen wird.

3.4 Restgasbildungspotenzial bei der Lagerung des flüssigen Gärguts

Ein weiterer Ansatz zur Bestimmung der zu erwartenden Methanemissionen bei der Lagerung des flüssigen Gärguts ist die Bestimmung des Gasbildungspotenzials in den Lagerbehältern in Abhängigkeit von Temperatur und Verweilzeit.

Am Institut für Biotechnologie der ZHAW in Wädenswil wurden zu diesem Zweck Laborversuche durchgeführt und in einem Bericht zusammengefasst [11].

Dazu wurden Proben von vier verschiedenen kommunalen Feststoffvergärungsanlagen aus dem Raum Zürich bei vier unterschiedlichen Temperaturen während knapp 48 Tagen inkubiert.

Tabelle 2: Mittelwerte der TS- und OTS-Gehalte der Proben

Parameter	Einheit	Mittelwerte
Trockensubstanz TS	% FM	14.2
Organische Substanz OTS	% TS	50

Die nachfolgende Tabelle zeigt die spezifische Biogasbildung in g Methan pro kg OTS bei den jeweiligen Temperaturen (Mittelwerte sämtlicher Proben) nach 7, 14, 21, 28, 35, 42 und 48 Tagen Versuchsdauer.

Tabelle 3: Spezifische Methanbildung in g Methan pro kg OTS je Temperatur (Mittelwerte sämtlicher Proben) nach 7, 14, 21, 28, 35, 42 und 48 Tagen Versuchsdauer.

Temperatur	°C	17	27	37	48
Methanbildung		g CH₄ /kg OTS			
Versuchsdauer in Tagen	7	0.44	3.10	11.51	17.71
	14	0.89	5.76	21.70	29.23
	21	1.33	7.97	26.57	36.76
	28	1.77	10.63	31.00	42.07
	35	2.66	13.29	34.99	46.06
	42	3.10	16.83	38.09	49.60
	48	3.99	19.04	40.30	51.81

Mit Hilfe der ermittelten spezifischen Biogasbildung können nun die erwarteten Methanemissionen bei der Lagerung abgeschätzt und mit den Praxismessungen an den Anlagen verglichen werden.

Dazu wurden folgende Annahmen verwendet:

- Pro Tonne Frischmaterial (FM) wird mit rund 480 l flüssigem Gärgut gerechnet
- Die Temperatur in den Sedimentationsbecken der Praxisanlage beträgt 27° bzw. 37 °C
- Die mittlere Verweilzeit in den Sedimentationsbecken der Praxisanlage beträgt rund 21 Tage

Tabelle 4: Methanfracht pro Tonne Frischmaterial (Input biogene Abfälle)

Emissionen pro Tonne FM		21 Tage, 27 °C	21 Tage, 37 °C
Input biogene Abfälle Anlage	kg	1000	1000
Output fest	kg	500	500
Output flüssig	kg	480	480
Volumen PW	l	500	500
TS	%	14.2	14.2
OTS	%	50	50
Methanbildung	g/kg OTS	7.97	26.57
Methanfracht	g/t FM	273	906
	kg /t FM	0.3	0.91

Vergleicht man die mit Hilfe der Labor-Versuchsreihe ermittelte spezifische Methanbildung aus dem flüssigen Gärgut von 0.91 kg/t FM mit den in der Anlage A über das Abluftsystem gemessenen Werten von total 1.7 kg CH₄/ t FM (bei 37°C) und rund 0.85 kg CH₄/t FM für den flüssigen Teil (50 %), so können diese in der Grössenordnung bestätigt werden.

Tabelle 5: Methanemission pro Tonne Frischmaterial (Input biogene Abfälle) in Abhängigkeit der Lagerdauer bei 37°C

Lagerdauer Tage @ 37°C	kg CH ₄ /t FM	Anteil
7	0.39	29%
14	0.74	54%
21	0.91	66%
28	1.06	77%
35	1.19	87%
42	1.30	95%
48	1.37	100%

Die Auswertung der Versuche zeigt weiter, dass nach rund drei Wochen Lagerdauer (21d) bei einer Temperatur von 37°C rund 66 % bzw. 0.91 kg/ t FM der erwarteten Methanmenge (auf 48 Tage bezogen) entstanden ist. Mittels einer gasdichten Abdeckung des Lagers während 21 Tagen und einer anschliessenden Verwertung können rund 0.91 kg CH₄/t FM vermieden werden. Das verbleibende Methanbildungspotenzial bis zum 48. Tag unter identischen Lagerbedingungen den Annahmen betreffend TS und OTS beträgt rund 0.46 kg CH₄ /t FM (Differenz zwischen 0.91 und 1.37 kg CH₄/t FM).

Im Falle einer externen Lagerung bei tieferen Temperaturen ab dem 21. Tag kann davon ausgegangen werden, dass sich das Methanbildungspotenzial weiter reduziert; voraussichtlich sogar halbiert.

3.5 Begrenzung des Restgasbildungspotenzials

In verschiedenen Publikationen (VDI-Richtlinie [6], Biogashandbuch Bayern [7], Vollzugshilfe Biogasanlagen in der Landwirtschaft [16]) wird vorgeschlagen, die Restmethanbildung zu begrenzen. In der erwähnten Literatur findet sich ein Wert von 1.5 %. Bei der Berechnung des Werts ist dabei von Nm^3 auszugehen, die Restmethanbildung ist bei 20°C und über einen Zeitraum von 60 Tagen zu ermitteln. Für Neuanlagen soll diese Anforderung umgesetzt werden. Zur Vereinfachung kann davon ausgegangen werden, dass dieser Wert beim flüssigen Gärgut nach einer Aufenthaltszeit von ca. 60 Tagen im gasdichten System erreicht ist.

4. Übersicht über mögliche technische Reduktionsmassnahmen

Gemäss dem Messbericht A [2] werden ca. 50% der Methanemissionen auf einer gewerblich-industriellen Vergärungsanlage nach dem System Propfenströmer bei der Sedimentation, Sandabscheidung und Lagerung des flüssigen Gärguts emittiert.

Um die Emissionen zu reduzieren, kommen theoretisch folgende Massnahmen in Frage:

- 1) Gasdichte Abdeckung des flüssigen Gärgutlagers inklusive
 - a) Fassung und Rückführung des Methans (Biogas) in den Gasspeicher
 - b) Verwertung des gefassten Methans im BHKW oder über Gasaufbereitung
- 2) Markante Abkühlung des Gärguts vor der Separierung auf $< 20^\circ\text{C}$ zur Reduktion der biologischen Aktivität
- 3) Regenerative thermische Oxidation (RTO), bei der die methanhaltige Abluft über den Becken gefasst und nachfolgend einer thermischen Behandlung unterzogen wird.

Tabelle 2: Bewertung der technischen Lösungen hinsichtlich Emissionen bei der Lagerung

Lösungen	Geschätzte Methanemissionen	Energiebilanz	Bewertung
1a/b: Abdeckung des Flüssiglagers	ca. 1 kg Methan pro Tonne Input	+1-2% mehr Gas	Erhöhung der Energieproduktion
2: Abkühlung des Gärguts auf < 20 °C	ca. 1.5 kg Methan pro Tonne Input	Negativ	hoher Energiebedarf
3: Thermische Nachverbrennung	ca. 1 kg Methan pro Tonne Input	Neutral bis negativ, je nach Menge Stützgas	hoher technischer Aufwand und hohe Kosten, ev. Stützgas

Abdeckung des Flüssiglagers

Die Abdeckung des Flüssiglagers ist die einzige technische Lösung, bei der die Emissionen der flüssigen Gärreste verhindert werden und ein zusätzlicher Energiegewinn entsteht. Die Variante wird aus diesem Grund mit grüner Farbe hinterlegt und erfüllt die Kriterien gemäss dem Stand der Technik.

Bei dieser Lösung ist darauf zu achten, dass die Prozesse der Entwässerung und der Sandabscheidung rasch ablaufen, da während dieser Zeit keine Gasfassung möglich ist. Eine maximale Zeitdauer von wenigen Stunden erscheint hierfür angemessen. Um dies zu erreichen, muss eine Pfropfenstromanlage nach dem System Kompogas mit einer mechanischen Sandabscheidung ausgerüstet sein. Eine passive Absetzung durch die Schwerkraft wie sie heute im Normalfall eingesetzt wird, ist nicht mehr möglich.

Abkühlung des Gärguts auf < 20°C

Um die Methanemissionen aus dem flüssigen Gärgut minimal halten zu können, muss es rasch auf eine Temperatur unter 20°C abgekühlt werden. Unter der Annahme, dass die Kühlenergie zugeführt werden muss und nicht auf der Anlage zur Verfügung steht, ergibt sich für eine mittelgrosse Anlage ein beträchtlicher Kühlenergiebedarf. In Absprache mit den Vertretern der Branche wurde diese Variante verworfen. Sie wird mit roter Farbe hinterlegt.

Thermische Nachverbrennung

Bei einer thermischen Nachverbrennung gemäss dem Stand der Technik müssen die Methanemissionen so oxidiert werden können, dass keine erhebliche Zusatzenergie genutzt werden muss. Da diese Massnahme nur unter gewissen Umständen die Anforderungen erfüllen kann, ist sie orange hinterlegt.

4.1 Schlussfolgerungen

Die Messungen an den Anlagen A [2] und C [14] haben gezeigt, dass bei Pfpfenstrom-Vergärungsanlagen mit Methanemissionen von mehr als 1.5 kg CH₄ /t Input gerechnet werden muss. Vergleicht man diesen Wert mit dem auf der Anlage B ermittelten Wert für die Emissionen des festen Gärguts, so kann folgendes festgestellt werden:

1. Die Emissionen aus der Lagerung des flüssigen Gärguts machen bei Pfpfenstromanlagen mindestens 50% der Gesamtemissionen aus. Absolut belaufen sich die Emissionen auf rund 0.8-1.2 kg/Tonne Input. Wird dieser Anteil mit den Emissionen aus dem festen Gärgut (rund 0.3 kg/t Input) verglichen, so zeigt sich, dass die Emissionen aus dem flüssigen Gärgut klar höher sind (Faktor ca. 2.5).
2. Vergleicht man für Pfpfenstromanlagen mögliche Massnahmen, welche die Emissionen beim flüssigen und beim festen Gärgut mindern könnten, so sind die Massnahmen beim flüssigen Gärgut weit wirkungsvoller. Mit einer gasdichten Abdeckung der Lagerbehälter für flüssiges Gärgut können annähernd die gesamten Emissionen gefasst und einer Nutzung zugeführt werden. Die Massnahmen beim festen Gärgut beschränken sich auf die Art und Weise der Lagerung und der Belüftung, wobei ein Wirkungsgrad von unter 50% geschätzt wird. Zudem zeigen erste Versuche, dass bei einem Belüftungsregime mit Fokus auf geringe Klimagasemissionen die Endqualität des festen Gärguts negativ beeinflusst wird. Das Gärgut müsste stärker belüftet werden, was zu einer starken Austrocknung des Materials führt.



Folgerung: Zur Reduktion der Methanemissionen muss bei Pfpfenstromanlagen mit Massnahmen bei der Aufbereitung und Lagerung des flüssigen Gärgutes angesetzt werden. Die gasdichte Abdeckung der Lagerbehälter für flüssiges Gärgut oder die gezielte Erfassung der Methanemissionen erscheint als die Massnahme der Wahl.

5. Beschreibung Stand der Technik

Die Messung und Überwachung der Methanemissionen pro Tonne verarbeitetem Material kann in der Praxis nur mit grossem Aufwand nachgewiesen werden und verursacht einen hohen Kontrollaufwand.

Zur Vereinfachung des Vollzugs wird davon ausgegangen, dass für Anlagen mit Pfpfenstromfermentern und einer Fest/Flüssig-Trennung unter folgenden Umständen die Emissionen klimawirksamer Gase ausreichend vermindert werden und somit der Stand der Technik und die Anforderungen der VVEA eingehalten werden:

1. Der Prozess der Fest/Flüssig-Trennung und der Sedimentation wird so durchgeführt, dass das flüssige Gärgut möglichst rasch (d.h. im Normalfall innert maximal 24 Stunden) einem gasdichten System mit einer Gasverwertung zugeführt werden kann.
2. Das flüssige Gärgut wird nach der Fest/Flüssig-Trennung und der Sandabscheidung

- a. entweder bis zu dessen Ausbringung in einem gasdichten System gelagert oder
 - b. während mindestens 3 Wochen (bestehende Anlagen) bzw. 60 Tagen (neue Anlagen) in einem gasdichten System gelagert. Anschliessend kann es in nicht gasdicht abgedeckten Behältern bei einer Temperatur von < 27 °C bis zum Ausbringen gelagert werden.
 - c. Auf die Lagerung im gasdichten System kann verzichtet werden, wenn nachgewiesen wird, dass die Restmethanbildung kleiner als 1.5 % ist.
3. Die Methanemissionen der Lagerbehälter für flüssiges Gärgut werden möglichst vollständig erfasst und einer Verwertung ohne erheblichen Energieaufwand zugeführt.

Diese Vorgaben sind einzuhalten, unabhängig davon, wo die Lagerung des flüssigen Gärguts stattfindet. Dem Anlagenbetreiber wird jedoch freigestellt, eine andere Massnahme zur Reduktion der Methanemissionen umsetzen, sofern die Gesamtemissionen nachweislich in einer ähnlichen Grössenordnung liegen.

Vor diesem Hintergrund wird der Stand der Technik für die Verminderung von Methanemissionen bei gewerblich-industriellen Vergärungsanlagen wie folgt festgehalten:

- 1 Die baulichen Einrichtungen müssen gewährleisten, dass Emissionen klimawirksamer Gase mittels geeigneter Massnahmen verhindert oder vermindert werden (Art 33 Abs 2 VVEA).**
- 2 Der Stand der Technik gilt bei Anlagen mit Pfpfenstromfermentern und Fest-/Flüssig-Trennung als erfüllt, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:**
 - a. Der Prozess der Fest/Flüssig-Trennung und der Sedimentation wird so durchgeführt, dass das flüssige Gärgut möglichst rasch (d.h. im Normalfall innert maximal 24 Stunden) einem gasdichten System mit einer Gasverwertung zugeführt werden kann.**
 - b. Das flüssige Gärgut wird nach der Fest/Flüssig-Trennung und der Sandabscheidung**
 - i. entweder bis zu dessen Ausbringung in einem gasdichten System gelagert oder**
 - ii. während mindestens 3 Wochen (bestehende Anlagen) bzw. 60 Tagen (neue Anlagen) in einem gasdichten System gelagert. Anschliessend kann es in nicht gasdicht abgedeckten Behältern bei einer Temperatur von < 27 °C bis zum Ausbringen gelagert werden.**
 - iii. Auf die Lagerung im gasdichten System kann verzichtet werden, wenn nachgewiesen wird, dass die Restmethanbildung kleiner als 1.5 % ist⁴.**
- 3 Die Methanemissionen der Lagerbehälter für flüssiges Gärgut werden möglichst vollständig erfasst und einer Verwertung ohne erheblichen Energieaufwand zugeführt.**

⁴ Die Restmethanbildung muss kleiner sein als 1.5 % der in der Biogasanlage gebildete Methanmenge. Bei der Berechnung des Werts ist von Nm³ auszugehen, die Restmethanbildung ist bei 20°C und über einen Zeitraum von 60 Tagen zu ermitteln [15].

6. Regelungen für bestehende Anlagen

Die in diesem Stand der Technik genannten Anforderungen müssen in erster Linie von Neuanlagen eingehalten werden. Gemäss USG [4] müssen aber auch bestehende Anlagen, die den Vorschriften nicht genügen, saniert werden (Art. 16 Abs. 1 USG). In der LRV [5] wird die Standardfrist für eine Sanierung auf fünf Jahre festgelegt (Art. 10 LRV). In Art. 33 i.V.m. Art. 54 Abs. 1 VVEA ist für Vergärungsanlagen eine Frist bis Ende 2020 vorgesehen, um die baulichen Massnahmen zur Vermeidung von klimaaktiven Gasen zu realisieren. Diese Frist soll auch für die Erreichung des Standes der Technik angesetzt werden.

Längere Fristen bis zu höchstens zehn Jahren können gemäss LRV festgelegt werden, wenn

1. die Sanierung mit erheblichen Investitionen verbunden ist oder
2. Die Anlage das Ende ihrer Lebensdauer voraussichtlich innert fünf Jahren erreicht.

Die konkrete Frist für die einzelnen Anlagen müssen somit im Einzelfall geprüft werden. Sind die oben genannten Punkte erfüllt, so ist im Einzelfall eine längere Frist von höchstens zehn Jahren anzusetzen.

7. Literatur

1. Gewitra, Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer mbH (2015): Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen, im Auftrag des Umweltbundesamt UBA, Dessau.
2. Umweko GmbH (2013). Messbericht zu den Messungen in Anlage A, Treibhausgas-Emissionen aus der Vergärung, Grenchen.
3. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) (2014). Liste der Ausgangsmaterialien für Vergär- und Kompostieranlagen, Bern.
(<http://www.blw.admin.ch/themen/00011/00076/index.html?lang=de>).
4. Umweltschutzgesetz (USG) vom 7. Oktober 1983
5. Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985
6. Verein Deutscher Ingenieure (2010). Emissionsminderung. Biogasanlagen in der Landwirtschaft. Vergärung von Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger. VDI 3475, Blatt 4. Berlin.
7. Bayrisches Landesamt für Umwelt (2011). Biogashandbuch Bayern – Materialienband. Augsburg.
8. Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA) vom 4. Dezember 2015
9. Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV) vom 18. Mai 2005
10. agridea (2012) Weisungen zur Handhabung von Vergärungsprodukten in der Suisse-Bilanz, Seite 3 ff.
11. ZHAW Wädenswil (2015) Bestimmung des Gasbildungspotenzials von flüssigem Gärgut (Presswasser)
12. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (2015). Messbericht Nr. 115'002. Methan Emissionsmessung Anlage B.
13. Abfallgesetz des Kantons Zürich (AbfG) vom 25. September 1994
14. Noxaquant GmbH (2016). Vergärungsanlage C, Emissionsmessungen Gesamt-KW und Nichtmethan-KW, Hüntwangen.
15. Bayrisches Landesamt für Umwelt (2013). Restmethanbildungspotenzial in offenen Gärrestlagern – Biogasanlagen mit Einsatz von Energiepflanzen, Augsburg.
16. Bundesamt für Landwirtschaft (2016). Biogasanlagen in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft, Bern.

8. Erstellungs- und Änderungsprotokoll

Aktuelle Version, Datum	Version 3, September 2017
Erstversion	24.6.2016
Ersteller	Seraina Steinlin
Auf www.awel.zh.ch publiziert	

23.8.2016: Kapitel 2.1: Kapitel stark zusammengefasst; „Lagerung“ durch „Nachrotte“ ersetzt bei der Behandlung des festen Gärguts

30.9.2016-06.09.2017: vollständige Überarbeitung des Dokuments